

3  
⑤

Int. Cl. 2:

H 01 S 3-02

⑩ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

G 02 B 1-00

G 02 B 5-04

B 05 B 1-00

DEUTSCHES



PATENTAMT

DT 24 08 808 A1

⑪

# Offenlegungsschrift 24 08 808

⑫

Aktenzeichen:

P 24 08 808.2-33

⑬

Anmeldetag:

23. 2. 74

⑭

Offenlegungstag:

4. 9. 75

⑮

Unionspriorität:

⑯ ⑰ ⑱

⑥

Bezeichnung:

Freistrahldüse für optisch hochwertige Flüssigkeitsfreistrahlen

⑦

Anmelder:

Garching Instrumente, Gesellschaft zur industriellen Nutzung von  
Forschungsergebnissen mbH, 8046 Garching

⑧

Erfinder:

Welling, Herbert, Prof. Dipl.-Phys. Dr., 3001 Isernhagen;  
Wellegehausen, Bernd, Dipl.-Phys. Dr., 3011 Letter;  
Beigang, Rene, Dipl.-Phys., 3000 Hannover

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DT 24 08 808 A1

21. 2. 1974

Dr. J./K.

Meine Akte: 373

GARCHING INSTRUMENTE, Gesellschaft zur industriellen  
Nutzung von Forschungsergebnissen mbH., 8046 Garching,  
Freisinger Landstraße 25

-----

Freistrahldüse für optisch hochwertige  
Flüssigkeitsfreistrahlen

-----

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Freistrahldüse  
für optisch hochwertige Flüssigkeitsfreistrahlen, insbe-  
sondere zum Einsatz in Dauerstrich-Farbstofflasern zur  
Erzeugung eines Freistrahles von zwei ebenen parallelen  
Flächen von geringer Dicke.

Bei Dauerstrich-Farbstofflasern haben küvettenartige  
Führungen für das aktive Medium, welches aus einer mit  
Farbstoff versetzten Flüssigkeit besteht, zu Schwierig-  
keiten geführt, die Anlaß dafür waren, den in diesen  
Lasern benötigten Flüssigkeitsstrahl frei in den Strahlen-  
gang des Laserresonators eintreten zu lassen. Aber auch  
der frei in den Resonator des Lasers eintretende Flüssig-  
keitsstrahl hat seine Probleme: Einerseits werden relativ

- 2 -

hohe Flüssigkeitsströmungsgeschwindigkeiten gefordert, um thermische Effekte zu vermeiden, andererseits muß der Strahl völlig laminar fließen, weil es darauf ankommt, einen Flüssigkeitsstrahl zu erzeugen, welcher optisch hochwertig ist. In seinem aktiven Teil sollte der Freistrahler aus zwei planparallelen Flächen mit geringem Abstand voneinander bestehen. Vor allem aber muß der Strahl eine große Stabilität besitzen. Dickenschwankungen müssen im aktiven Bereich des Strahles sehr gering sein: Sie sollen kleiner als  $2/100$  sein. Die Ebenheit der ebenen parallelen Flächen soll mindestens  $2/10$  sein. Diese geometrischen Eigenschaften des Strahles haben sich bei den bekannten Düsen nicht voll verwirklichen lassen. Die bekannten Düsen eignen sich auch nur für Flüssigkeiten von einer hohen Viskosität, wie beispielsweise Äthylenglykol n-Decanol, 2.2 Oxydiäthanol u. a., da Flüssigkeiten einer so hohen Viskosität dazu neigen, Instabilitäten des Strahles auszugleichen.

Die genannten Forderungen sind darin begründet, daß eine geringe Linienbreite und geringe Intensitätsschwankungen bei einem Laser gefordert werden. Diese Forderungen bedeuten für den Freistrahler, daß dieser nur äußerst geringe Dickenschwankungen aufweisen und in seinem Inneren nicht turbulent sein darf.

Trotz der Verwendung von Flüssigkeiten mit einer so hohen Viskosität von etwa  $\eta \approx 20$  cP, wie sie Äthylenglykol bei Zimmertemperatur aufweist, hat man die gestellten Forderungen an die optische Hochwertigkeit des Flüssigkeits-

- 3 -

50983870949

- 3 -

freistrahles in Dauerstrich-Farbstofflasern nur teilweise zu erfüllen vermocht.

Die bisher benutzten Düsen hatten einen im Querschnitt rechteckigen Flüssigkeitsaustritt. Der Übergang von dem Zuleitungsrohr in den Düsenaustritt war konisch oder von einer ähnlichen gerundeten geometrischen Form. Dieser Übergang lag dicht vor dem Düsenaustritt.

Flüssigkeiten mit niedrigerer Viskosität konnte man nicht oder nur in äußerst beschränktem Umfange einsetzen. Insbesondere Flüssigkeiten mit einer so niedrigen Viskosität wie Wasser waren unverwendbar. Die Verwendung von Wasser ist wegen der einfachen Handhabung, der geringen Kosten und aus thermischen Gründen in vielen Fällen wünschenswert.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Freistrahldüse zu schaffen, bei der der austretende Freistrahle optisch besonders hochwertig ist, so daß auch Flüssigkeiten von niedrigerer Viskosität in Anwendung gebracht werden können.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß die geometrische Form des aus der Düse austretenden Strahls in einem gewissen Bereich hinter der Düse durch die geometrische Form der Düse bestimmt ist und daß die optischen Eigenschaften des Freistrahls umso besser sind, je gleichmäßiger die Strömung in der Düse ist.

- 4 -

509836/0949

- 4 -

(In größerer Entfernung von der Düse unterliegt der Strahl einer Eigengesetzmäßigkeit, die die Strahlquerschnittsform stark verändert.)

Die Erfindung besteht darin, daß eine ausreichende Beruhigungszone vor dem Düsenaustritt vorgesehen ist. In einer derartigen Beruhigungszone vor dem Düsenaustritt wird die Flüssigkeit von einer zunächst beliebigen Strömung in eine voll ausgebildete laminare Strömung überführt. Hierdurch wird erreicht, daß die Flüssigkeit völlig stabil und laminar aus der Düse austritt.

Baulich läßt sich eine derartige Beruhigungszone beispielsweise dadurch verwirklichen, daß in der Düse der Zuflußkanal zum Düsenaustritt den Querschnitt des Düsenaustrittes aufweist und daß dieser Zuflußkanal in der Länge ein Vielfaches der Dicke des Düsenquerschnittes aufweist.

Diese Beruhigungszone vor dem Düsenaustritt bewirkt, daß die Flüssigkeit nach dem Austritt aus der Düse in einem gewissen Bereich ebenso weiterfließt, wie sie dieses in der Beruhigungszone getan hat. Da die Länge der Beruhigungszone ein Vielfaches der Dicke des Düsenquerschnittes aufweist, - in der Praxis betrug dieses Vielfache das Sechzig- bis Achtzigfache - ist eine völlig gleichmäßige Strömung erreicht worden. Die Stabilität der Strömung war so groß, daß in einem Dauerstrich-Farbstofflaser als Flüssigkeit sogar Wasser mit seiner niedrigen Viskosität verwendet werden konnte.

- 5 -

509836/0949

- 5 -

Zweckmäßig ist es, wenn der Übergang aus der Flüssigkeitszuführungsleitung in die Beruhigungszone konisch oder pyramidenförmig gestaltet ist. Hierdurch wird ein sauberes Einfließen der Flüssigkeit in die Beruhigungszone erreicht und damit die Flüssigkeitsströmung weiter stabilisiert.

Vorteilhaft ist es, wenn der Düsenaustritt scharfkantig, vor allem aber von exakt gleichem Querschnitt wie die Beruhigungszone ist. Das ist wichtig, damit zwei wirklich parallele Flächen bei dem gegenüber seiner geringen Dicke verhältnismäßig breiten Strahl entstehen.

Es hat sich herausgestellt, daß die Oberfläche der Beruhigungszone von Wichtigkeit ist. Hier ist es erforderlich, eine polierte Oberfläche mit einer Rauigkeit kleiner als  $1/\mu$  vorzusehen.

Baulich ist es vorteilhaft, wenn die Freistrahldüse aus zwei Hälften aufgebaut ist, die in Längsrichtung des Düsenaustrittes ihre Teilungsebene aufweisen und wenn an den Rändern der Düse zwischen den Hälften Materialstreifen eingespannt sind, welche die Dicke des Düsenaustritts-Querschnittes bestimmen. Auf diese Weise wird der Aufbau der Düse und die Herstellung der Düse sehr einfach. Außerdem ist eine problemlose Änderung von Düsendicke und Düsenbreite durch Auswechseln der Materialstreifen möglich. Zweckmäßig ist es, ein Dichtmittel, vorzugsweise Teflon in Form eines Bandes, hierbei zu verwenden. Die Düse selbst wird man zweckmäßig aus Edelstahl herstellen, wobei vorzugsweise ein Stahl der Beschaffenheit 4301 zu verwenden ist.

- 6 -

509836/0949

Die Herstellung aus Edelstahl gewährleistet, daß keinerlei Korrosionserscheinungen die Polierung der Oberfläche in der Beruhigungszone und am Düsenaustritt beeinflussen können.

Da es zur Vermeidung von Dickenschwankungen des Freistrahlers, die ja die Lasereigenschaften außerordentlich stark ungünstig beeinflussen, zweckmäßig ist, die Freistrahldicke bestimmte Werte nicht überschreiten zu lassen, und da die maximale Strömungsgeschwindigkeit wegen der erforderlichen Laminarität der Strömung sich umgekehrt zur Düsendicke verhält, hat die vorliegende Erfindung auch eine Möglichkeit geschaffen, um die Dicke der Flüssigkeit insgesamt durch Vervielfachung der Anzahl der Freistrahlen zu vergrößern, ohne gleichzeitig die Strömungsgeschwindigkeit entsprechend verkleinern zu müssen: Mit der erfindungsgemäßen Düse ist es möglich, zwei und auch mehrere parallel zueinanderliegende Flüssigkeitsstrahlen in den optischen Weg einzubringen. Baulich ist es hierbei zweckmäßig, die gleiche Düse zu verwenden, aber zwischen zwei seitlichen Materialstreifen einen weiteren ebenen Materialstreifen einzuspannen, welcher die Düsenaustrittsöffnung und die Beruhigungszone in zwei gesonderte, nebeneinanderliegende Düsenaustritte unterteilt. Auf diese Weise werden zwei oder auch mehr Flüssigkeitsstrahlen hintereinander im optischen Strahlengang wirksam. Die zwischen die beiden Hälften der Düse eingespannten Materialstreifen liegen dann hier wie Lamellen.

Bei der Gestaltung der Düse kann es auch zweckmäßig sein, eine Nut lediglich in der einen Hälfte vorzusehen, während man die andere Hälfte in der Teilungsebene der Düse völlig eben macht. Dieses verbilligt die Herstellungskosten. (Geht aber auf Kosten der Variabilität).

Die Qualität des Flüssigkeitsstrahls läßt sich noch dadurch verbessern, daß der Düsenaustritt die Form eines Langloches mit zwei parallelen Flächen aufweist, die durch halbrunde Flächen an den Enden abgeschlossen sind. Diese halbrunden Flächen in den Enden können als konkave Krümmung der Seitenflächen in den Abstands-Materialstreifen eingebracht sein. Dies ist zweckmäßig, vor allem für größere Dicken des Freistrahls.

Das Wesen der vorliegenden Erfindung ist anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 das optische System eines Dauerstrich-Farbstofflasers.

Fig. 2 einen Querschnitt durch die Düse.

Fig. 3 eine Ansicht des Austrittsendes der Düse.

Fig. 4 eine Ansicht des Austrittsendes einer Doppelstrahldüse.

Fig. 5 eine Ansicht des Austrittsendes einer Düse mit abgerundeten Strahlenden.

Fig. 6 eine Ansicht auf das Austrittsende einer unsymmetrisch geteilten Düse.

Fig. 7 eine schematische Darstellung des Pumpsystemes.

Der Dauerstrich-Farbstofflaser der Fig. 1 wird optisch gepumpt mit einem Argon-Ionen-Laser, dessen Strahl durch die Linse 1 in den Resonator einfällt. Die Linse 1 dient hierbei zur Fokussierung des Pumplaserstrahles und gleichzeitig als Endspiegel des Farbstofflaser-Resonators. Der Strahlengang durchläuft den Flüssigkeitsfreistrahls 2, der mit der erfindungsgemäßen Düse zweckmäßigerweise erzeugt wird. Der aus dem Freistrahls 2 austretende optische Strahl

509836/0949



wird an dem Mittelreflektor 3 reflektiert und durchläuft dann Selektionselemente 4 und anschließend ein Prisma 5, welches als Selektions- und Abstimm-Element dient. Ein zweiter Endspiegel 6 begrenzt den Resonator zur anderen Seite hin. Dieser zweite Endspiegel 6 dient gleichzeitig der Auskopplung.

Ein Querschnitt durch die Düse zur Erzeugung des Freistrahles 2 ist in Fig. 2 dargestellt. Die Düse besteht aus einem massiven Edelstahlblock 7, in dessen Innerem die Beruhigungszone 8 verläuft. Diese Beruhigungszone ist ein Kanal, welcher den gleichen Querschnitt wie der Düsenaustritt 9 aufweist. Die Flüssigkeit strömt in die Düse durch die Zuführungsleitung 10, welche beim Übergang 11 in die Beruhigungszone 8 konisch gestaltet ist. Die Länge L der Beruhigungszone ist ein Vielfaches der Dicke D des Düsenaustrittes, es haben sich als Vielfaches das Sechzig- bis Achtzigfache bewährt.

↓ In Fig. 3 ist eine Ansicht auf das Austrittsende der Düse gezeigt. Hier sieht man, daß der Düsenkörper 7 aus zwei Hälften 7 a und 7 b aufgebaut ist. Zwischen diesen beiden Hälften 7 a und 7 b sind Materialstreifen, vorzugsweise Edelstahlblechstreifen, der Dicke D eingelegt. Diese Streifen 12 bestimmen somit die Dicke D des Düsenaustritts und der Beruhigungszone. Ihr Abstand voneinander B bestimmt die Breite des Flüssigkeitsstrahles.

In Fig. 4 ist eine anders zusammengebaute Düse gezeigt: Hier sind zwischen den Düsenkörperhälften 7 a, 7 b nicht nur Edelstahlblechstreifen 12 eingefügt, sondern zusätzlich noch eine Lamelle 13, ein weiterer Blechstreifen, der sich über die gesamte Breite der Düse erstreckt. Durch diesen

- 9 -

sich über die gesamte Breite der Düsen erstreckenden eingefügten Metallstreifen 13 werden zwei Austrittsöffnungen 9 a und 9 b geschaffen, so daß aus dieser Düse zwei Flüssigkeitsstrahlen parallel zueinander austreten können.

In Fig. 5 ist eine andere Ausführungsform gezeigt. Hier weist der Düsenaustritt 9 zu beiden Seiten abgerundete Endflächen 14 auf. Hierdurch läßt sich vor allem bei größeren Düsendicken D die Strahlqualität noch verbessern.

In Fig. 6 ist gezeigt, daß die beiden Düsenhälften ungleich gestaltet sein können. Die Düsenhälfte 7 c weist in der Teilungsebene 15 eine völlig glatte ebene Gestalt auf, während die Düsenhälfte 7 d die Beruhigungszone 8 vom Querschnitt des Düsenaustrittes 9 enthält.

In Fig. 7 ist dann das Flüssigkeitspumpensystem schematisch dargestellt. In einer Flüssigkeitspumpe 16, die aus dem Vorratsbehälter 17 Flüssigkeit entnimmt, wird diese unter Druck gesetzt, und in ein Puffergefäß 18 eingepumpt, in welchem die Flüssigkeit unter dem Druck eines Gases steht, welches den Raumteil 19 einnimmt. Aus dem Puffergefäß 18 fließt die unter Druck stehende Flüssigkeit durch die Leitung 10 in den Düsenkörper 7 ein, aus dessen Austritt 9 der Freistrah 19 austritt. Dieser wird in dem Gefäß 20 aufgefangen und durch einen Kanal 21 in das Vorratsgefäß zurückgeführt.

In Versuchen hatten sich folgende Ergebnisse erzielen lassen:

- 10 -

509836/0949

- 10 -

Mit diesen Düsen lassen sich die Freistrahlen von einer optischen Qualität geeignet für den Einsatz in Farbstofflasern bei hochviskosen Lösungsmitteln ( $\eta = 20$  cP) bis zu einer Reynoldszahl von etwa 1300 erreichen, in wässrigen Lösungen bis zu Reynoldszahlen von nahezu 2300. Geringste Dickenfluktuationen und Intensitätsschwankungen ergeben sich bei sehr dünnen Düsen, bei hohen Viskositäten und bei einer optimalen Strömungsgeschwindigkeit. Die optimale Strömungsgeschwindigkeit liegt bei einer mittleren Reynoldszahl. Geeignete Düsenbreiten liegen im Bereich von 5 - 10 mm. Bei Strahldicken unter 0,3 mm (für  $\eta = 1$  cP), bzw. 0,6 mm (für  $\eta = 20$  cP) und bei der optimalen Strömungsgeschwindigkeit bleiben die Dickenschwankungen unter 15 nm und die Linienbreite eines Farbstofflasers mit einer Resonatorlänge von 65 cm unter 10 MHz. Die besten bisher ermittelten Linienbreiten lagen bei 3 MHz entsprechend Dickenschwankungen von etwa 5 nm.

Um diese Werte zu erreichen, ist ein stabiler Laseraufbau und ein Farbstoffkreislauf mit einem Puffergefäß erforderlich.

- 11 -

509836/0949

## P a t e n t a n s p r ü c h e :

- (1.) Freistrahldüse für optisch hochwertige Flüssigkeitsfreistrahlen, insbesondere zum Einsatz in Dauerstrich-Farbstofflasern zur Erzeugung eines Freistrahles von zwei ebenen parallelen Flächen von geringer Dicke und mit geringen Dickenschwankungen, gekennzeichnet durch eine Beruhigungszone (8) vor dem Düsenaustritt (9).
2. Freistrahldüse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beruhigungszone (8) in der Düse (7) den Querschnitt des Düsenaustrittes (9) und in der Länge ein Vielfaches der Dicke D des Düsenquerschnittes aufweist.
3. Freistrahldüse nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Übergang aus der Flüssigkeitszuführungsleitung (10) in die Beruhigungszone (8) konisch oder pyramidenförmig gestaltet ist.
4. Freistrahldüse nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenaustritt (9) scharfkantig, vor allem aber von exakt gleichem Querschnitt wie die Beruhigungszone ist.
5. Freistrahldüse nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauigkeit der polierten Beruhigungszone Werte kleiner als  $1/\mu$  hat.

- 12 -

6. Freistrahldüse nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Düsenkörper (7) aus zwei Hälften (7 a, 7 b, bzw. 7 c, 7 d) aufgebaut ist, die in Längsrichtung des Düsenaustrittes (9) ihre Teilungsebene (15) aufweisen.
7. Freistrahldüse nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß an den Rändern der Beruhigungszone (8) zwischen den Düsenkörperhälften (7 a, 7 b) Materialstreifen (12) eingespannt sind, welche die Dicke (D) des Düsenaustrittsquerschnittes (9) bestimmen.
8. Freistrahldüse nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zwischen zwei seitlichen Materialstreifen (12) ein weiterer ebener lamellenförmiger Materialstreifen (13) eingespannt ist, welcher die Düsenaustrittsöffnung (9) und die Beruhigungszone (8) in zwei gesonderte, nebeneinanderliegende Düsenaustritte (9 a, 9 b) unterteilt.
9. Freistrahldüse nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Beruhigungszone (8) in Form einer Nut in einer Hälfte (7 d) angeordnet ist, während die andere Düsenkörperhälfte (7 c) in der Teilungsebene völlig glatt und eben ist.

- 13 -

509836/0949

10. Freistrahldüse nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Düsenaustritt (9) in Form eines Langloches  
mit zwei parallelen Flächen gestaltet ist, die durch  
halbrunde Flächen (14) an den Enden abgeschlossen sind.
11. Freistrahldüse nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die halbrunden Flächen (14) als konkave Krümmung  
in den Materialstreifen (12) angebracht sind.
12. Freistrahldüse nach Anspruch 1 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Düsenkörper aus Edelstahl, vorzugsweise  
4301, hergestellt ist  
und daß als Dichtmittel vorzugsweise Teflon in Form  
eines Bandes verwendet ist.

<sup>14</sup>  
Leerseite

FIG.1

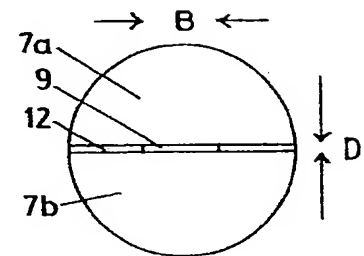
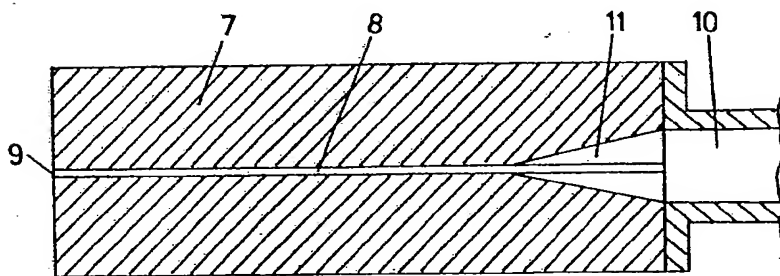
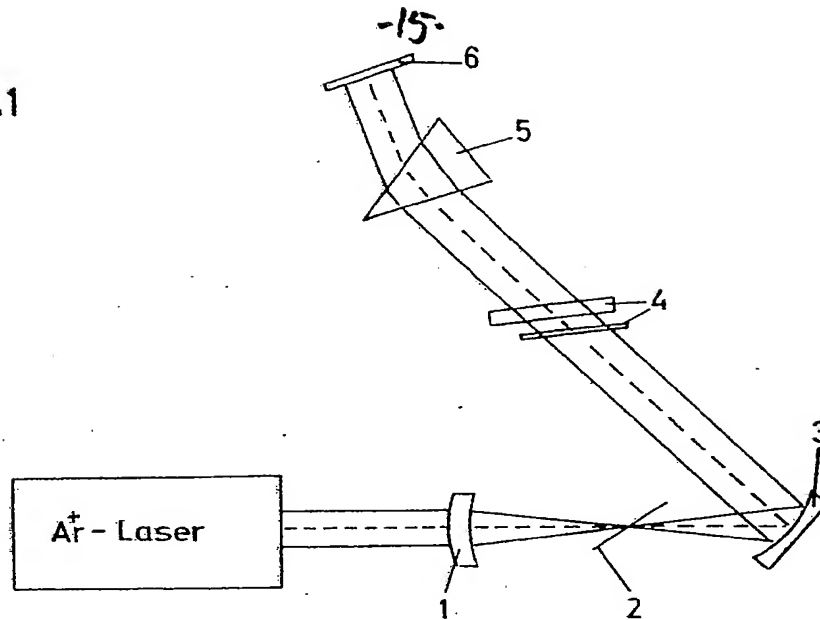
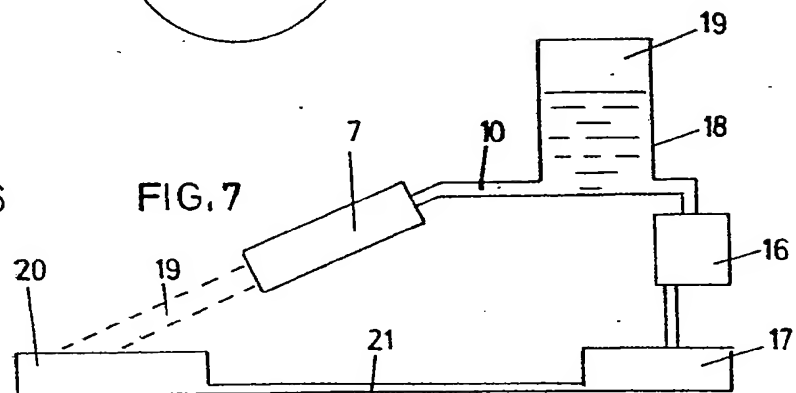
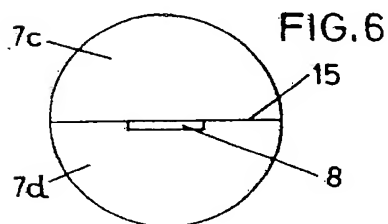
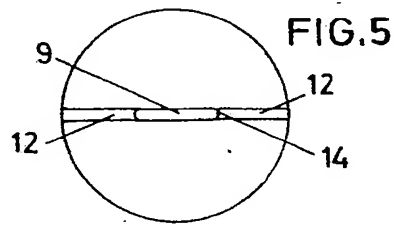
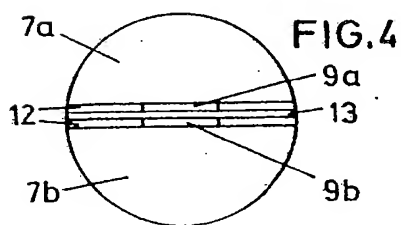


FIG.2

FIG.3



509836/0949

H01S 3-02

AT:23.02.1974 OT:04.09.1975